

**NAWOZY Z ODPADÓW JAKO ŹRÓDŁO
SKŁADNIKÓW POKARMOWYCH W NAWOŻENIU
ROŚLIN UPRAWNYCH**

**Rolnicze wykorzystanie odpadów i produktów
ubocznych jako ogniwo gospodarki obiegu
zamkniętego**

pod redakcją naukową

Jana Łabętowicza i Wojciecha Stępnia

Wydawnictwo SGGW & Fundacja „Pro Civis”
Warszawa – Kielce 2020

© Copyright by Wydawnictwo SGGW & Fundacja „Pro Civis”, Warszawa – Kielce 2020
Wydanie I

Recenzent: prof. dr hab. Jacek Antonkiewicz

Autorzy:

prof. dr hab. Jan Łabętowicz
prof. dr hab. Beata Rutkowska
dr hab. Tomasz Sosulski
prof. dr hab. Wojciech Stępień
dr hab. Ewa Szara
prof. dr hab. Wiesław Szulc
dr hab. Magdalena Szymańska

Opracowanie redakcyjne – Jan Kiryjow

Opracowanie graficzne – Elżbieta Wojnarowska

Korekta – Agata Cienkusz, Anna Gajek, Marcin Nowak, Michał Kosecki

ISBN 978-83-7583-952-4

ISBN 978-83-958274-0-2

Wydawnictwo SGGW
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
tel. 22 593 55 20
e-mail: wydawnictwo@sggw.edu.pl
www.wydawnictwosggw.pl

Fundacja Edukacji i Dialogu Społecznego
„Pro Civis”
ul. Szkolna 36A, 25-604 Kielce
tel. 41 345 32 71 wewn. 810
e-mail: office@procivis.org.pl
www.procivis.org.pl

Druk: Wydawnictwo Jedność, ul. Jana Pawła II 4, 25-013 Kielce, tel. 41 349 50 00,
e-mail: jednosc@jednosc.com.pl, www.jednosc.com.pl

Spis treści

Wstęp	11
1. Koncepcja gospodarki obiegu zamkniętego – przyrodniczy recykling odpadowych składników mineralnych	13
<i>Jan Łabętowicz, Wojciech Stępień</i>	
1.1. Koncepcja gospodarki obiegu zamkniętego	13
1.2. Zasoby przyrody jako obiekt gospodarowania	15
1.3. Strategia Unii Europejskiej na rzecz biogospodarki	18
1.4. Kierunki rozwoju biogospodarki w Polsce i wybranych krajach	20
1.5. Główne obszary działania biogospodarki – biogospodarka w zakresie odpadów	22
1.6. Ewolucja obiegu składników mineralnych w ekosystemie rolniczym na różnych etapach rozwoju cywilizacji	22
2. Potencjał nawozowy głównych odpadów w Polsce	29
<i>Ewa Szara</i>	
2.1. Potencjał nawozowy odpadów organicznych	30
2.1.1. Odpady organiczne pochodzenia rolniczego	30
2.1.2. Odpady z przemysłu rolno-spożywczego	37
2.1.3. Biodegradowalna frakcja odpadów komunalnych	46
2.2. Potencjał nawozowy odpadów nieorganicznych	55
2.2.1. Poprodukcyjna wełna mineralna z upraw bezglebowych	55
2.2.2. Uboczne produkty spalania (UPS)	57
2.2.3. Fosfogipsy	65
2.2.4. Odpadowy węgiel brunatny	67
3. Możliwość przetwarzania odpadów na produkty nawozowe	71
<i>Jan Łabętowicz, Wojciech Stępień</i>	
3.1. Kierunki przetwarzania (uzdatniania) odpadów biodegradowalnych na produkty nawozowe	71
3.2. Możliwe kierunki i technologie przetwarzania odpadów nieorganicznych na produkty nawozowe	72
3.3. Wykorzystanie odpadów do produkcji nawozów i polepszaczy glebowych do nawożenia	72
3.4. Czynniki ograniczające przyrodnicze wykorzystanie odpadów	76
3.5. Bezpieczeństwo i higiena pracy przy zagospodarowaniu odpadów	80

4. Kierunki i technologie przetwarzania odpadów na nawozy 85

Beata Rutkowska, Wiesław Szulc

4.1. Nawozy organiczno-mineralne	86
4.2. Nawozy organiczne z odpadów	95
Podsumowanie	96

5. Osady ściekowe – właściwości i przyrodnicze wykorzystanie 97

Tomasz Sosulski

5.1. Powstawanie osadów ściekowych	97
5.2. Właściwości fizyczne i chemiczne osadów ściekowych	98
5.3. Właściwości biologiczne osadów ściekowych – zabiegi unieszkodliwiania patogenów	100
5.4. Osady ściekowe jako nawóz	104
5.4.1. Wpływ osadów ściekowych na właściwości gleby	104
5.4.2. Wpływ osadów ściekowych na plony roślin	109
5.4.3. Wpływ osadów ściekowych na zawartość składników pokarmowych w roślinach	110
5.4.4. Wpływ osadów ściekowych na zawartość metali ciężkich	112
5.4.5. Nawozy z osadów ściekowych	112
Podsumowanie	115

6. Przetwarzanie odpadów biodegradowalnych metodami kompostowania ... 117

Beata Rutkowska, Wiesław Szulc

6.1. Przebieg procesu kompostowania	119
6.2. Warunki prowadzenia procesu kompostowania	121
6.3. Technologie kompostowania	127
6.3.1. Kompostowanie w technologii otwartej	129
6.3.2. Kompostowanie w technologii zamkniętej	132
6.3.3. Inne systemy kompostowania	137
6.4. Ocena dojrzałości i jakości kompostu	141
Podsumowanie	143

7. Przetwarzanie odpadów na biowęgiel i możliwości jego przyrodniczego wykorzystania 145

Beata Rutkowska, Wiesław Szulc

7.1. Biowęgiel – definicja	145
7.2. Otrzymywanie biowęgla	147
7.3. Właściwości biowęgla	148
7.4. Wymagania jakościowe dla biowęgla	150

7.5. Nawozowe wykorzystanie biowęgla	151
7.6. Pozostałe możliwości wykorzystania biowęgla	155
8. Fermentacja metanowa i nawozowe zagospodarowanie pofermentu	157
<i>Magdalena Szymańska</i>	
8.1. Podstawy teoretyczne procesu fermentacji metanowej	157
8.2. Regulacje prawne dotyczące produktu pofermentacyjnego	161
8.3. Właściwości fizykochemiczne produktu pofermentacyjnego	162
8.4. Wartość nawozowa produktu pofermentacyjnego	165
8.5. Możliwości przetwarzania produktu pofermentacyjnego	166
Podsumowanie	171
9. Odpady nieorganiczne do odkwaszania gleb	173
<i>Wiesław Szulc, Beata Rutkowska, Ewa Szara, Tomasz Sosulski</i>	
9.1. Nawozy wapniowe – definicja, rodzaje	174
9.2. Wapna odpadowe	177
9.3. Odpady górnictwa i przemysłu energetycznego	188
9.3.1. Uboczne produkty spalania – powstawanie i podział	189
9.3.2. Wykorzystanie popiołów lotnych	195
9.3.3. Wykorzystanie gipsu i fosfogipsu	198
10. Technologie odzysku fosforu z odpadów i nawozowe wykorzystanie uzyskanych produktów	209
<i>Magdalena Szymańska</i>	
10.1. Techniczne i pilotażowe instalacje do odzysku fosforu	213
10.2. Wartość nawozowa struwitu	220
Podsumowanie	224
11. Zasady stosowania nawozów z odpadów	225
<i>Tomasz Sosulski</i>	
11.1. Uwarunkowania rolnicze nawozowego wykorzystania odpadów	225
11.1.1. Uwarunkowania glebowe	225
11.1.2. Zasoby składników pokarmowych roślin w glebie	226
11.1.3. Odczyn gleby	230
11.1.4. Zasoby materii organicznej gleby	235
11.2. Równowaga składników pokarmowych roślin w nawożeniu	237
11.3. Zasady stosowania nawozów i środków wytworzonych z odpadów do poprawy właściwości gleby	239
11.3.1. Zasady wapnowania gleb	239

11.3.2. Zasady stosowania nawozów i środków do poprawy właściwości gleb	241
11.4. Technologie stosowania nawozów i środków do poprawy właściwości gleby	249
12. Ocena cyklu życia – LCA (ang. Life Cycle Assessment) w przyrodniczym wykorzystaniu odpadów	253
<i>Magdalena Szymańska</i>	
12.1. Struktura analizy cyklu życia (LCA)	254
Podsumowanie	257
13. Uwarunkowania prawne przyrodniczego zagospodarowania odpadów	259
<i>Magdalena Szymańska, Wojciech Stępień</i>	
13.1. Uwarunkowania krajowe (<i>Magdalena Szymańska</i>)	259
13.2. Nowe uwarunkowania prawne zagospodarowania odpadów w Europie (<i>Wojciech Stępień</i>)	263
13.2.1. Wymogi dotyczące produktu nawozowego UE	266
13.2.2. Kategorie funkcji produktów (PFC – Product Function Categories) dla produktów nawozowych UE z odpadów	270
13.2.3. Kategorie materiałów składowych (CMC – COMPONENT MATERIAL CATEGORIES) – odpadów możliwych do wykorzystania w produkcji nawozów	273
13.2.4. Ogólne wymogi dotyczące etykietowania produktów nawozowych	281
13.2.5. Opis procedur oceny zgodności	283
13.2.6. Najważniejsze akty prawne regulujące zagospodarowanie odpadów w Polsce	288
Załącznik nr 1. Katalog odpadów	295
Literatura	309
Streszczenie angielskie książki	329
Noty biograficzne autorów	336

Table of contents

Introduction.....	11
1. The concept of circular economy – the natural recycling of waste mineral components	13
<i>Jan Łabętowicz, Wojciech Stępień</i>	
1.1. The concept of circular economy	13
1.2. Natural resources as an object of management	15
1.3. European Union Strategy for the Circular Economy	18
1.4. Directions of bioeconomy development in Poland and in selected countries.....	20
1.5. Main areas of bioeconomy – bioeconomy in the field of waste	22
1.6. Evolution of mineral circulation in the agricultural ecosystem at various stages of civilisation development	22
2. Fertilising potential of main waste in Poland	29
<i>Ewa Szara</i>	
2.1. Fertilising potential of organic waste	30
2.1.1. Organic agricultural waste	30
2.1.2. Waste from the agri-food industry	37
2.1.3. Biodegradable fraction of municipal waste	46
2.2. Fertilising potential of inorganic waste	55
2.2.1. Post-production mineral wool from soilless crops	55
2.2.2. Combustion by-products (CBP)	57
2.2.3. Phosphogypsum	65
2.2.4. Waste lignite	67
3. Possibilities of processing waste into fertilising products	71
<i>Jan Łabętowicz, Wojciech Stępień</i>	
3.1. Directions of processing biodegradable waste into fertilisers	71
3.2. Technologies for processing inorganic waste into fertilisers	72
3.3. The use of waste for the production of fertilisers and soil improvers	72
3.4. Factors limiting the natural use of waste management	76
3.5. Occupational health and safety in waste management	80
4. Directions and technologies of processing waste into fertilisers	85
<i>Beata Rutkowska, Wiesław Szulc</i>	
4.1. Organic-mineral fertilisers from waste	86

4.2. Organic fertilisers from waste	95
Summary	96
5. Sewage sludge – properties and agricultural use	97
<i>Tomasz Sosulski</i>	
5.1. Sewage sludge formation	97
5.2. Physical and chemical properties of sewage sludge	98
5.3. Biological properties of sewage sludge	100
5.4. Sewage sludge as a fertiliser	104
5.4.1. Impact of sewage sludge on soil properties	104
5.4.2. Impact of sewage sludge on plant yielding	109
5.4.3. Impact of sewage sludge on the content of nutrients in plants	110
5.4.4. Impact of sewage sludge on heavy metal content in plants	112
5.4.5. Fertilisers from sewage sludge	112
Summary	115
6. Processing of biodegradable waste by composting methods	117
<i>Beata Rutkowska, Wiesław Szulc</i>	
6.1. Composting process flow	119
6.2. Conditions for composting	121
6.3. Composting technologies	127
6.3.1. Open composting	129
6.3.2. Closed composting	132
6.3.3. Other composting technologies	137
6.4. Assessment of compost maturity and quality	141
Summary	143
7. Conversion of waste to biocarbon and options of its natural use	145
<i>Beata Rutkowska, Wiesław Szulc</i>	
7.1 Biochar – definition	157
7.2. Biochar production	159
7.3. Properties of biochar	160
7.4. Biochar quality standards	162
7.5. Biochar-based fertilization	163
7.6. Other possibilities for biochar application	167
8. Methane fermentation and fertilising use of digestate	157
<i>Magdalena Szymańska</i>	
8.1. Theoretical basis of methane fermentation process	157

8.2. Legal regulations regarding the digestate	161
8.3. Physical and chemical properties of the digestate	162
8.4. Fertilising value of the digestate	165
8.5. Options for digestate processing	166
Summary	171
9. Mineral waste for deacidification of soils	173
<i>Beata Rutkowska, Wiesław Szulc, Ewa Szara, Tomasz Sosulski</i>	
9.1. Calcium fertilisers – definition, types	174
9.2. Waste limes	177
9.3. Wastes from mining and energy industry	188
9.3.1. Combustion by-products – formation and division	189
9.3.2. The use of fly ash	195
9.3.3. The use of gypsum and phosphogypsum	198
10. Technologies of phosphorus recovery from waste and fertilising use of the obtained products	209
<i>Magdalena Szymańska</i>	
10.1. Technical and pilot installations for phosphorus recovery	213
10.2. Fertilising value of struvite	220
Summary	224
11. Rules for the use of fertilisers derived from waste	225
<i>Tomasz Sosulski</i>	
11.1. Agricultural conditions for the fertilising use of waste	225
11.1.1. Soil conditions	225
11.1.2. Plant nutrient resources in soil	226
11.1.3. Soil pH	230
11.1.4. Soil organic matter resources	235
11.2. Plant nutrient balance in fertilisation	237
11.3. Rules for the use of fertilisers and soil improvers derived from waste ...	239
11.3.1. Rules for soil liming	239
11.3.2. Rules for the use of fertilisers and soil improvers	241
11.4. Technologies for the use of fertilisers and soil improvers	249
12. Life Cycle Assessment (LCA) in the natural use of waste	253
<i>Magdalena Szymańska</i>	
12.1. Structure of the LCA method	254
Summary	257

13. Legal regulations for waste management in Poland	259
<i>Magdalena Szymańska, Wojciech Stępień</i>	
13.1. National regulations	259
13.2. New legal regulations for waste management in Europe	263
13.2.1. Requirements for EU fertilising product	266
13.2.2. Product Function Categories (PFC) for EU fertilisers derived from waste	270
13.2.3. Component material categories (CMC) – wastes acceptable to be used in the production of fertilisers	273
13.2.4. General labeling requirements for fertilisers	281
13.2.5. Description of conformity assessment procedures	283
13.2.6. The most important legal acts regulating waste management in Poland	288
Annex no. 1 – Waste catalogue	295
Literature	309
English summary of handbook	329
Biographical note of authors	336